生質酒精之生產與利用

林昀輝、盧文章、李宏台

工業技術研究院能源環境研究所

前　言

運輸型車輛其主要動力燃料來源為汽柴油，而由於化石燃料使用對空氣污染嚴重，如產生大量的顆粒粉塵，CO_2 排放量高及毒性致癌物質如多環芳香烴 (PAHs) 等。據研究指出，運輸用燃料因燃燒產生的污染已成為空氣污染的主要問題（IEA, 2003）。為解決汽柴油的排氣污染問題及日益惡化的環境壓力，世界各國均積極研發其他能源替代現行運輸用燃料，目前主要的替代運輸用燃料為生質柴油及生質酒精，歐盟訂定生質燃料於 2005 年達到 2%，2010 年達到 5.75％ 而於 2020 年達到 8％ 的目標（以能量為計算基準）（European Commission, 2003），主要就是以生質柴油取代柴油，而以酒精取代汽油。現階段雖然生質柴油或生質酒精其製造成本高於傳統化石燃料，然而世界各國利用不同政策手段如減稅或其他優惠推動生質燃料的利用。酒精的生產製造是一個傳統而古老的行業，隨著燃料酒精的推廣使用，使得酒精製造出現新的生機，本報告將介紹燃料酒精之應用及其環保與能源效益，並針對澱粉作物轉化酒精之技術加以探討，分析其生產程序及成本，此外也將介紹相關技術未來的發展趨勢。

國外生質酒精應用情形

2004 年之全球酒精生產量超過 400 億公升，最主要的酒精生產國家為巴西和美國 (33%) 。在巴西所使用的原料為甘蔗，酒精年產量超過 150 億公升 (全球的 37%) ，在美國則以玉米為主要原料，酒精的年產量則超過 133 億公升 (全球的 33%) 。酒精最大用途為替代燃料，全球所生產的酒精中，約 70％ 做為燃料酒精（RFA, 2005）。燃料酒精的利用是與汽油混合使用，例如 E10 即為以 10％ 的酒精與 90％ 的汽油混合，E85 則為 85％ 的酒精與 15％ 的汽油混合，目前在車輛的使用方面，以 E10 為燃料，汽車幾乎不需要做任何修改，目前亦有汽車製造商已開發可變燃料汽車 (flexible fuel vehicles)，其可利用無鉛汽油和任何比例的酒精做為燃料 (最高 85％ ，E85)，目前主要是在美國與巴西使用。目前世界各國有關燃料酒精的計畫如表一（RFA, 2005） 。

巴西是目前發展生質酒精替代汽油最成功的國家，早在 1920 年代，

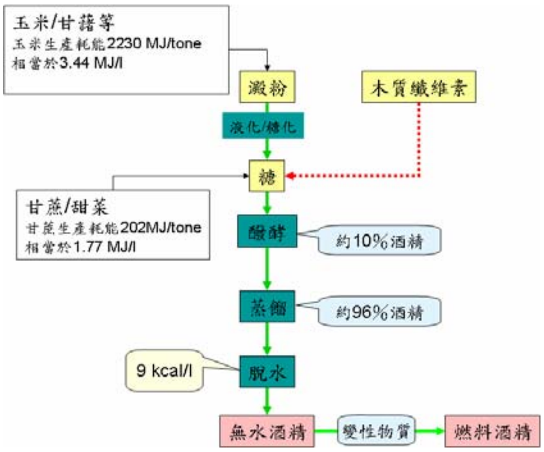
巴西就開始使用乙醇汽油。由於巴西石油资源缺乏，但盛產甘蔗，於是形成了用甘蔗生產蔗糖與酒精的成套技術。目前，巴西是世界上唯一不賣純汽油的國家，其汽油中酒精含量約 20-25％，此外亦有純使用酒精之車輛。美國是世界上另一個燃料酒精的主要消费國，根據統計，在 2004 年美國約添加 34 億加侖 (128 億公升) 至汽油中，約佔汽油使用量的 2％ (v/v)（Davis and Diegel, 2004），此外，美國部分州也開始禁用 MTBE，而酒精即成為其最佳的替代品。歐洲使用生質酒精主要是將其轉化成乙基第三丁基醚（ETBE），少部分直接以酒精摻配。預計 10 年內，酒精的使用量 (ETBE 和直接摻配) 預計約達 $3.79\times10^{6}\ m^{3}/a$。此外，隨著東歐國家加入歐盟，其亦將遵守歐盟的目標，因此整體酒精使用量將進一步增加。在亞洲，各國也積極推動使用生質酒精，例如在中國有需多省分在汽油中添加 10％ 酒精、印度也在 9 個州及四個地區添加 5％酒精，而日本目前也允許在汽油中添加 3％ 的酒精 (E3)。

表一、 世界各國酒精相關計畫

國家	燃料酒精政策
巴西	汽油中需添加 25％酒精
歐盟	生質燃料目標(以能量計算)：2005 年達 2％，2010 達 5.75％
加拿大	Sakatchewan：2005 年汽油需添加 7.5％酒精
	Manitoba：2005 年汽油需添加 10％酒精
哥倫比亞	2005 年 10 月後在大都市汽油需添加 10％酒精
泰國	要求曼谷附近加油站販售添加 10％酒精的汽油
中國	在部分省分要求摻配酒精
日本	2008 年汽油需添加 10％酒精，去年自巴西進口約 15 萬公秉之酒精

生質酒精生產程序

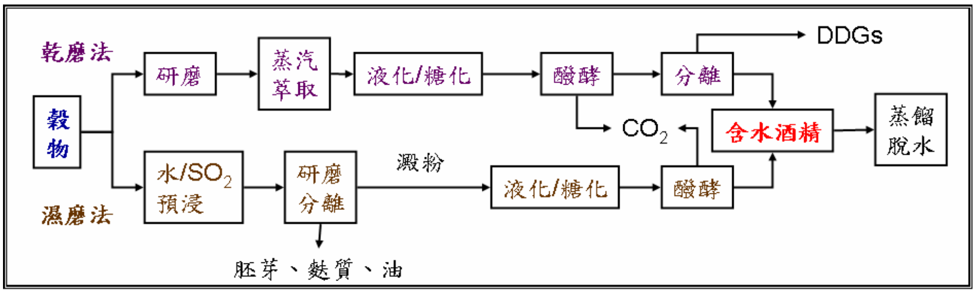
酒精被具有潛力取代汽油的運輸燃料，主要的生產方式是利用微生物以糖為基質醱酵生產(另外可以由乙烯進行水合反應生產)，目前商業化的製程以甘蔗 (巴西) 和玉米 (美國) 為主，另外也有以甜菜或小麥等穀物做為原料，木質纖維素雖然具有量大價廉的優勢，但是由於需要複雜的前處理才能獲得微生物能利用的糖，因此目前仍無商業化製程，酒精生產的示意流程圖如圖一所示。



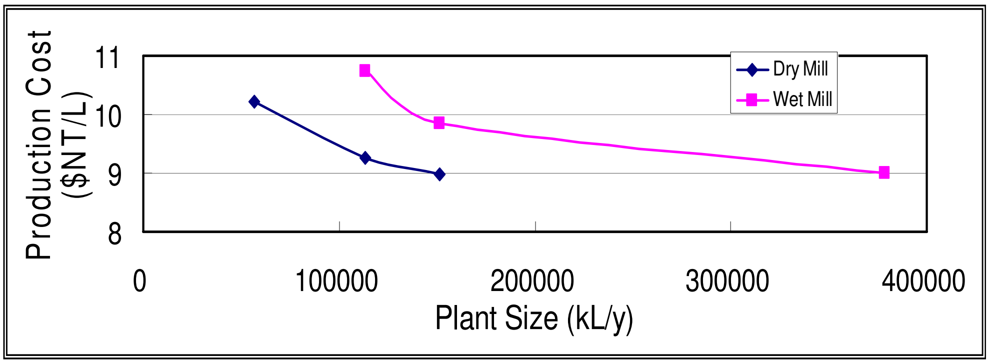
圖一、酒精生產流程示意圖

利用甘蔗做為原料時，可分為直接甘蔗汁醱酵與糖蜜醱酵，由於兩者均是富含微生物可利用的糖，因此醱酵之技術已相當成熟。甘蔗汁含糖率約 13-15% ，可直接做為酒精醱酵之原料，此外若添加 0.05-.01% 的硫銨與 0.01% 的磷酸二鉀，則可以改善酒精醱酵效率，由甘蔗汁醱酵生產酒精，每公噸甘蔗約可產 80 公升酒精，亦即每生產 1 公升酒精約需 12.5 公斤的甘蔗。糖蜜為製糖工業的副產品，其中約含 35% 蔗糖和 15% 還原糖，其他還含有胺基酸、蛋白質、維生素等，是一種優良的醱酵工業原料，利用糖蜜做為原料的優點 (和甘蔗汁比) 在於糖蜜較耐儲存，新鮮甘蔗汁很容易酸壞。台糖以往即以糖蜜為原料生產酒精，不過隨著新營副產品加工廠的酒精工廠停工，目前國內已無酒精生產工廠。根據台糖的估算，以甘蔗產製酒精，每公秉酒精所需甘蔗種植成本約 18,000 元，營運成本 (包括產製與銷售) 約 16,000 元，合計約 34,000 元/公秉。此價格遠高於國際市場價格，若無法大幅改善，將無商業競爭力。

利用澱粉做為原料是另一項以成熟之技術，其中以美國利用玉米為最大宗，其生產技術可分為乾磨法與濕磨法，兩者的差異如圖二所示，兩者的差別在於乾磨法直接將穀物研磨後，經液化與糖化後進行醱酵，不能醱酵的殘渣經分離後可做為飼料，濕磨法則事先經過處理，將胚芽、麩質與油質分離，僅將澱粉部分進行液化與糖化後進行醱酵，其優點在於可將非澱粉部分分離，附加價值較高，但是需要較高設備成本，因此，需較大經濟規模方具有商業競爭力。圖三為此兩種程序生產酒精之生產成本比較，可發現濕磨法約需 2 倍大的生產規模時，其酒精生產才與乾磨法相當。



圖二、穀物醱酵生產酒精流程示意圖

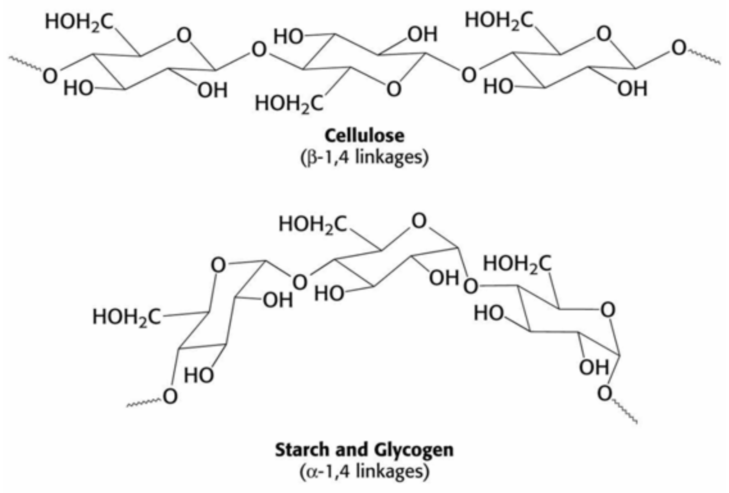


圖三、乾磨法與濕磨法生產酒精之生產成本比較（Whims, 2002）

甘薯具有適應性強且產量高的特點，國內也有大規模種植的經驗，是國內未來產製酒精可行的原料之一，利用甘薯做為原料，生產 1 公升酒精約需 8 公斤甘薯 (鮮重) ，依據 93 年農業統計年報作物生產第一種成本，甘薯的生產成本為 4 元/公斤，若依此計算光是原料成本即高達 32 元/公升。根據農委會農試所的資料顯示，其育成數種高澱粉含量的甘薯品種 (可高達 75 %以上) ，未來若配合大規模機械化栽種與採收，成本可降低至 2 元/公斤，若此目標可達成，則利用甘薯生產酒精的原料成本可降至 16 元/公升。此外木薯也是一種可能之作物，利用木薯生產酒精的原料時，生產 1 公升酒精約需 5.6 公斤的木薯，若能將其生產成本控制在 2 元/公斤，則其原料成本僅約需 11.2 元/公升。美國農業部估算以玉米製造酒精的生產成本，在年產 40 萬加侖的酒精工廠其製造成本 (不包括原料成本，但是考慮副產物收入) 約為每公升 4 元，若依此計算，則國內以甘薯和木薯製造酒精的成本約 15-20 元/公升，將具有一定的競爭力，但是必須注意上述的成本是基於國內甘薯或木薯的生產成本為 2 元/公斤，此一目標之達成有待透過育種/選種、大規模及機械化種植與採收等的發展才能達成。

質纖維素是藏量最豐富的生質物，其由纖維素、半纖維素與木質素所構成，纖維素雖然和澱粉一樣是由葡萄糖所構成，但是兩者的結構不同 (圖四) ，因此纖維素無法如澱粉一般可以輕易水解成葡萄糖做為微生物代謝

之基質，目前將纖維素主要的水解方式有兩種，一為酸水解另一為酵素水解，兩者的比較如表二；稀酸水解雖然快速，但是會生成呋喃類的化合物，其會抑制後續的醱酵，解決之道在於將此類毒性物質分離或者開發對此類化合物耐受力較高的酒精醱酵菌；利用酵素水解雖然可以完全將纖維素轉化成葡萄糖，也可避免酸水解產生抑制物的問題，但是纖維水解酵素較為昂貴，而且其轉化速率較慢未來成功之關鍵在於大幅降低酵素生產成本及增加生物反應效率。半纖維素為多種糖類的聚合物，其中以木糖的含量較高，其分子量遠比比纖維素低，通常在利用酸或鹼對木質纖維素處理時即會水解，但是木糖為五碳糖，無法有效做為酒精醱酵之基質，目前有利用基因改良的方式，使得酒精醱酵菌能夠代謝木糖，但是目前仍屬實驗室測試階段。



圖四、纖維素與澱粉結構之差異

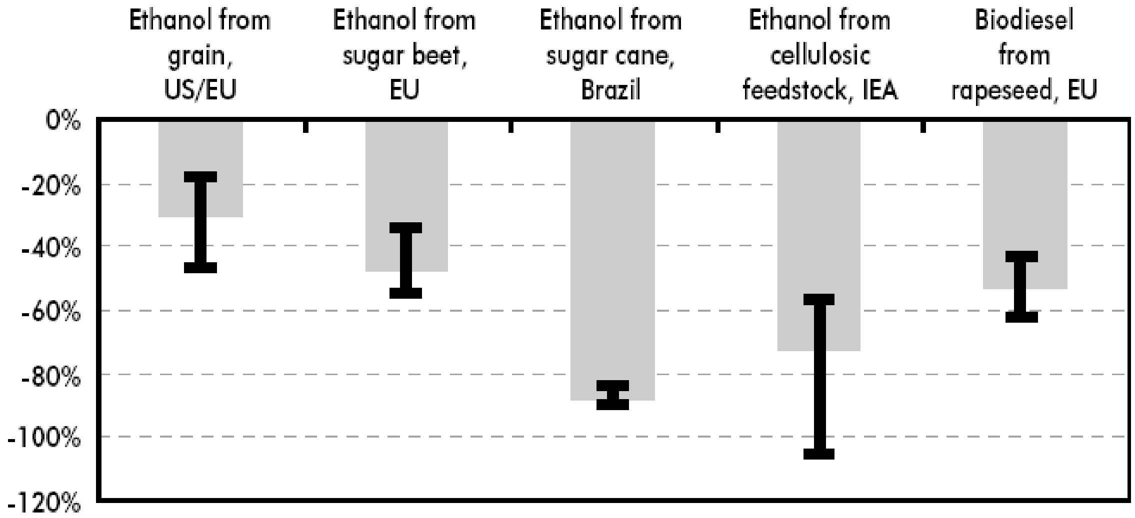
表二、纖維素酸水解與酵素水解之特性比較 （Bungay, 2004）

特點	酸水解	酵素水解
最大產率	80%	99%
前處理	破碎	研磨或爆裂
觸媒	強酸	酵素
觸媒製備	無	醱酵技術
整體產率	80%	85%
糖的品質	可能會有醱酵抑制物	適合醱酵(五碳糖除外)
廢棄物	大量污泥	處理後廢棄物較少
設備成本	相對較低	很高

生質酒精之環境與能源效益

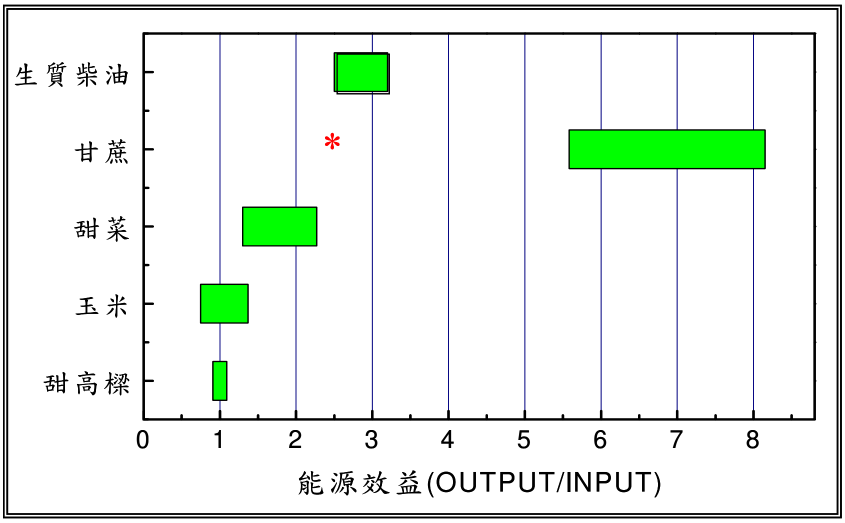
根據國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 的報告顯示（IEA, 2004），相對於傳統汽油，添加 10% 酒精 (E10) 可降低許多污染物的排放，但也會造成部分污染物增加，其效應和添加 MTBE 做為增氧劑類似。其中最大效應在於降低一氧化碳的排放，E10 可減少 25% 以上的一氧化碳排放。而其對於揮發性有機物和氮氧化物 (NOx) 的影響尚不清楚，這兩者在大氣中反應會生成臭氧，其中揮發性有機物逸出增加，乃是因為酒精汽油的蒸汽壓 (雷氏蒸汽壓，Reid Vapor Pressure) 較高所導致，對於 NOx 的排放，在車輛引擎的排放中，在低濃度摻配酒精時， NOx 的排放可從減少 10% 到增加 5% ，但是若考濾整個酒精的生產過程 (包括種植與轉製等) ，則 NOx 的排放則會更明顯增加。隨著酒精添加量增加，毒性物質 (如苯、甲苯、二甲苯、1,3 丁二烯) 的排放會降低，其主要是因為酒精有稀釋作用，此外諸如甲醛、乙醛和過氧硝酸乙醯酯 (peroxyacetyl nitrate, PAN) 等的排放則會增加，其主要是由排氣中污染物在大氣中的二次化學反應生成，其中 PAN 對眼睛有刺激性，對植物也有害。

相對於傳統汽油，生質酒精可以降低溫室效應氣體排放，在 well to wheel 的基礎上，生質酒精溫室效應氣體減量效益如圖五所示，隨著原料不同，其減量效益也有所差異，其中以穀物或甜菜做為原料，約減少 20-50%，略低於生質柴油的減少 40-60% ，不過在巴西以甘蔗為原料可減少約 90% ，利用纖維素生產酒精雖然尚未有商業化製程，不過依照估算結果其可減少 60-100% 的溫室效應氣體。因此，面對目前全球一片降低溫室效應氣體排放的呼聲中，使用生質燃料 (包括生質酒精與生質柴油) 將是一種趨勢。



圖五、生質燃料對於溫室效應氣體之減量效益

在討論酒精之能源效益時，主要在於酒精所能獲得的淨能量，通常會以產出/投入比表示，亦即以酒精生產所投入之能量 (包括種植、收成、運輸與轉化) 與所獲得酒精之能量比。產出/投入比大於 1 表示可獲得正的能量，亦即所獲得能量大於投入之能量，反之小於 1 時，所獲得能量不足以提供投入之能量。圖六為生質柴油與生質酒精之能量產出/投入比，圖六中顯示，以油菜籽生產生質柴油之產出/投入比約為 2.5-3.2，在生產酒精時，以糖質作物為原料可獲得較佳產出/投入比，在巴西以甘蔗為原料更可高達 5.5-8.3，但是在以澱粉作物為原料時，產出/投入比僅為 1 左右，對於以玉米為原料生產酒精的能源效益，關於玉米酒精得能源效益一直是一個討論的重點，美國能源部在 2002 年曾經整理過去 10 年間的相關研究，雖然結果有正有負，但是近幾年的結果比較傾向玉米酒精具又正面效益。其中影響能源效益的幾個主要因素如下：一、單位面積產量；二、酒精轉化效率與能量需求；三、肥料生產所需能量；四、是否需灌溉；五、副產品 (主要用作飼料) 所含能量計算。



圖六、生質燃料之能源效益(*為台糖在 1985 年估算值)

結 語

面對石油等化石能源日益枯竭之趨勢，世界各國無不積極開發再生能源做為因應之道，發展生質燃料具前瞻性，國內目前在政府積極推動之下，朝此方向努力發展。各國在推動生質燃料時大部分是結合其國內農業發展，例如巴西的甘蔗酒精、美國的玉米酒精及大豆生質柴油、歐盟油菜籽生質柴油及甜菜/小麥酒精，其最主要目標在於減少對化石燃料及進口能源之依賴，並達到使用潔淨與再生能源之目標，若是依然採進口為主(原料或成品)，則仍然無法增加能源自主性。因此，國內發展生質燃料之料源也儘可能應以國內生產為主，而所需技術也應建立國內自主性技術為目標方為長遠之計，國內目前每年休耕農地達 24 萬公頃，如何運用國內休耕農地生產生質燃料所需之料源，兼及環保、農經及能源等效益值得探討，但是若採獎勵補助政策引導，必須注意避免造成政府長期負擔。國內未來發展生質酒精成功之關鍵在於降低生產成本提高競爭力，其中又以原料成本最為關鍵，包括增加單位面積產量，降低耕種與收成之成本等。此外，建構完善的使用環境亦是重要的一環，未來需透過教育宣導、進行實車道路測試及耐久測試等工作，並建立相關運轉和排放資料，增進民眾使用意願和信心，進而加速生質酒精的推動。

參考資料

European Commission, Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of May 2003- on the Promotion of the Use of Biofuels or other renewable Fuels for Transport. Official Journal of the European

Union, L 123/42, (2003).

RFA. (2005) Ethanol Industry Outlook 2005, Renewable Fuels Association .

Davis S.C., Diegel S.W. (2004) Transportation Energy Data Book (Technical Report No. ORNL-6973, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN) .

Bungay H.R. (2004) Confessions of a bioenergy advocate, Trends in Biotechnology, 22 (2), 67-71

IEA. Biofuel Fuel for Transport: An International Perspective, International Energy Agency (2004)